

УДК 621.4.002.2: 629.73.002.72

Г.Б. Філімоніхін, проф., д-р. техн. наук, А.Ю. Невдаха, асп.

Кіровоградський національний технічний університет

Складання двоопорних роторів барабанно-дискової конструкції методом двох пробних складань з заміром биття на призмах

Модифікований метод двох пробних складань роторів барабанно-дискової конструкції з заміром биття на поворотному складальному штапелі для складання двоопорних роторів цієї конструкції із заміром биття на призмах.

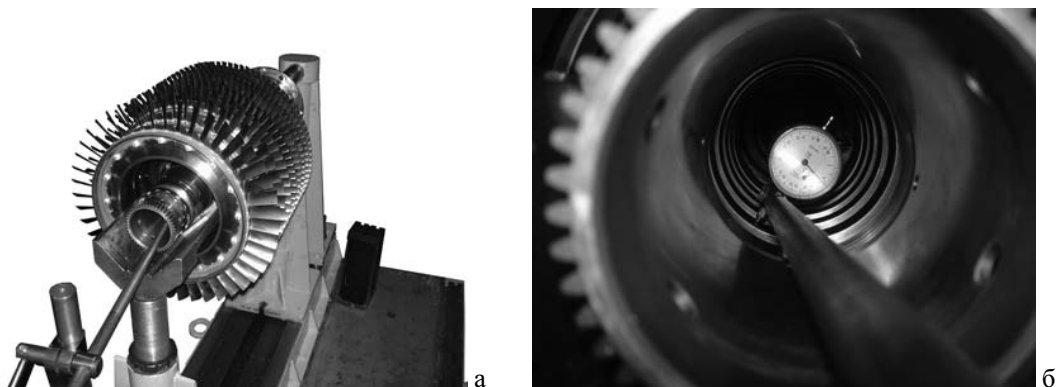
складання роторів, ротор барабанно-дискової конструкції, ротор

Вступ. Надійна робота механізмів і машин, елементами яких є ротори барабанно-дискової конструкції, залежить від технологічного процесу складання цих роторів. Робочі колеса ротора барабанно-дискової конструкції з'єднуються між собою безпосередньо або через приставки. Тому у двоопорному роторі неспіввісність кожного робочого колеса залежить від неспіввісності інших робочих коліс. У консольних роторах барабанно-дискової конструкції неспіввісність певного робочого колеса залежить тільки від неспіввісності всіх попередніх робочих коліс, що встановлені перед ним до опори, і є накопиченою. Через неспіввісності деталей виникає розподілений по повздовжній осі ротора дисбаланс, через який виникають вібрації, що прискорюють вихід з ладу самих механізмів і машин [1-3].

В роботах [4-6] був розроблений спосіб складання роторів барабанно-дискової конструкції методом двох пробних складань з заміром положень деталей ротора на поворотному складальному штапелі. Для реалізації складання ротора за цим методом необхідно двічі пробно скласти ротор (перший раз ланки ротора неповернуті, а другий – повернуті одна щодо одної на 180°). Після кожного складання на поворотному складальному штапелі заміряються биття ланок ротора. За цими биттями, за певним алгоритмом, розраховуються характеристики утворених при стикуванні ланок ротора кінематичних пар. За отриманими характеристиками пар моделюється віртуальне складання ротора, після чого обчислюється значення функціонала якості. Мінімізацією функціонала якості при наявності обмежень на биття одержуються оптимальні кути повороту ланок у роторі, за якими і виконується остаточне – третє складання ротора. Для мінімізації використовується метод повного перебору всіх можливих варіантів складання ротора. Метод двох пробних складань не потребує додаткового обладнання. Його було розроблено для складання консольних роторів, так як за базу береться перша деталь ротора (вал передній), яка встановлюється у поворотний складальний штапель без перекосу і ексцентриситету.

При встановленні ротора, зібраного за цим методом на призми, змінюються перекоси і ексцентриситети всіх ланок ротора, після чого деякі з них можуть не задовольняти заданим обмеженням. Тому у роботі модифікується метод двох пробних зборок роторів барабанно-дискової конструкції із заміром биттів на поворотному складальному штапелі для збирання двоопорних роторів барабанно-дискової конструкції із заміром биттів на призмах. Нижче відповідним чином змінюються основні етапи вихідного метода.

1. Особливості визначення характеристик пар. Як і в методі двох пробних зборок із заміром биттів на поворотному складальному штапелі [5,6], ротор пробно складається два рази на монтажному столі, шляхом послідовного приєднання деталей. При першому пробному складанні кути повороту ланок рівні 0^0 , а при другому – кожна ланка повернута щодо сусідньої на 180^0 . В процесі складання ротора заміри не проводяться. Після кожного пробного складання заміряються положення ланок в роторі, для чого ротор встановлюється на призми (рис. 1). Положення ланок, як і у випадку встановлення ротора на поворотний складальний штапель, найбільш точно можна визначати замірами радіальних і торцевих биттів за чотирма контрольними точками, як це описано в ОСТ І.41672-77 [7]. В результаті заповнюється табл. 1 биттів.



а – ротор на призмах; б – замір радіального биття робочого колеса по маточині диска

Рисунок 1 – Замір биттів ланок двохопорного ротора на призмах

Зауважимо, що на відміну від вихідного методу, табл. 1 заповнюється починаючи з першої ланки, бо на призмах вона може мати перекіс.

Таблиця 1 - Биття ланок k ротора після пробної зборки $j=1,2$ ротора

Величина, мм Ланка №	$\Delta 3_{k,j}$	$\Delta 4_{k,j}$	$\delta 3_{k,j}$	$\delta 4_{k,j}$
1				
...				
N				

Алгоритм визначення характеристик пар такий ж самий, як і в методі двох пробних складань ротора із заміром биттів на поворотному складальному штапелі [4-6].

Ексцентриситет і перекіс ланки k у роторі у комплексному вигляді задають величини [7]:

$$e_{k,j} = ex_{k,j} + iey_{k,j}, \quad \delta_{k,j} = \delta x_{k,j} + i\delta y_{k,j}, \quad / j=1,2 / ,$$

де

$$ex_{k,j} = -\frac{1}{2}(\Delta 3_{k,j} - \Delta 3_{k,0}), \quad ey_{k,j} = -\frac{1}{2}(\Delta 4_{k,j} - \Delta 4_{k,0}),$$

$$\delta x_{k,j} = \delta 3_{k,j} - \delta 3_{k,0}, \quad \delta y_{k,j} = \delta 4_{k,j} - \delta 4_{k,0}, \quad / j=1,2 / ,$$

причому індекс j дорівнює 1 – коли ланка в роторі після першого, а 2 – другого пробного складання, і величини з індексами „0” – є еталонними биттями контрольних поверхонь ланок [7].

Закон руху центра контрольної поверхні ланки n_s щодо ланки m_s в парі s визначається за формулою

$$e_{n_s}(\varphi_s) = \varepsilon p_{n_s} + \Delta e_{n_s} e^{-i\varphi_s}, \quad (1)$$

де

$$\varepsilon p_{n_s} = \frac{e''_{n_s,1} + e''_{n_s,2}}{2}, \quad \Delta e_{n_s} = \frac{e''_{n_s,1} - e''_{n_s,2}}{2},$$

$$e''_{n_s,j} = e_{n_s,j}(-1)^{j-1} - e_{m_s,j} - \frac{l_s}{2r_{m_s}} \delta_{m_s,j}, \quad / j = 1, 2 / .$$

Закон зміни перекоосу ланки n_s щодо ланки m_s в парі s визначається за формулою

$$\delta_{n_s}(\varphi_s) = \delta p_{n_s} + \Delta \delta_{n_s} e^{-i\varphi_s}, \quad (2)$$

де

$$\delta p_{n_s} = \frac{\delta''_{n_s,1} + \delta''_{n_s,2}}{2}, \quad \Delta \delta_{n_s} = \frac{\delta''_{n_s,1} - \delta''_{n_s,2}}{2},$$

$$\delta''_{n_s,j} = \delta_{n_s,j}(-1)^{j-1} - \delta_{m_s,j}, \quad / j = 1, 2 / .$$

Законои зміни ексцентриситету (1) і перекоосу (2) є характеристикою пари s , утвореною стикуванням ланок n_s і m_s .

За характеристиками пар здійснюється віртуальне складання ротора і проводиться оптимізація.

2. Модифікація алгоритму віртуального складання для двохопорного ротора. Як відомо, на відміну від консольно-встановлених роторів, у двохопорного значення ексцентриситетів першої і останньої ланок рівні нулю. Враховуючи цю умову, алгоритм віртуального складання був умовно розбитий на два етапи: віртуальне складання, що моделює складання ротора на поворотному складальному штапелі; перерахунок ексцентриситетів і перекоосів, що моделює переустановлення ротора на призми.

Алгоритм віртуального складання, що моделює складання ротора на поворотному складальному штапелі, повністю збігається із відповідним алгоритмом вихідного метода, описаним в роботі [5].

Проведемо перерахунок ексцентриситетів і перекоосів, що моделює переустановлення ротора на призми.

Нехай ротор складається з ланок, що з'єднуються послідовно. Будь-яка ланка k встановлюється на ланку $k-1$, $/ k = \overline{2, N} /$ з кутом відносного повороту φ_{k-1} . При цьому умовно утворюється кінематична пара $k-1$, якщо кут відносного повороту розглядати як ступень вільності. Всього таких пар $N-1$.

Нехай ротор був віртуально складений на поворотному складальному штапелі, в результаті чого визначені ексцентриситети і перекооси $e_k^{(u)}, \delta_k^{(u)}$ ланок ротору. Потім цей ротор був віртуально переустановлений на призми, через що ексцентриситети і перекооси ланок одержали нові значення e_k, δ_k , $/ k = \overline{1, N} /$.

При віртуальному встановленні ротора на призми, як показано на рис. 2, зникає ексцентриситет останньої ланки. Це призводить до зміни ексцентриситетів ланок $2, \dots, N-1$ на величини Δe_k , та перекоосів всіх ланок на $\Delta \delta_k$. Тому

$$e_k = e_k^{(u)} + \Delta e_k, \quad / k = \overline{2, N-1} / , \quad \delta_k = \delta_k^{(u)} + \Delta \delta_k, \quad / k = \overline{1, N} / . \quad (3)$$

Слід зауважити, що фізичний перекоіс всіх ланок змінюється на одну і ту ж величину. Але його комплексний еквівалент залежить від радіуса, на якому вимірюються торцеві биття [5,6], і тому змінюється для кожної ланки на окрему комплексну величину.

З рис. 2 для ексцентриситетів знаходимо

$$\Delta e_k = -e_N^{(u)} \cdot \left(\sum_{i=1}^{k-1} l_i / L \right), \quad / k = \overline{2, N-1} / , \quad (4)$$

де $e_N^{(u)}$ – ексцентриситет останньої ланки при віртуальному складанні ротора на поворотному складальному штапелі;

l_i – відстані між контрольними площинами, у яких вимірюються биття,

$$L = \sum_{i=1}^{N-1} l_i .$$

З рис. 2 для перекосів знаходимо

$$\Delta \delta_k = e_N^{(u)} r_k / L, \quad / k = \overline{1, N} / , \quad (5)$$

де r_k – радіус контрольної поверхні, на якій заміряються торцеві биття ланки k в роторі.

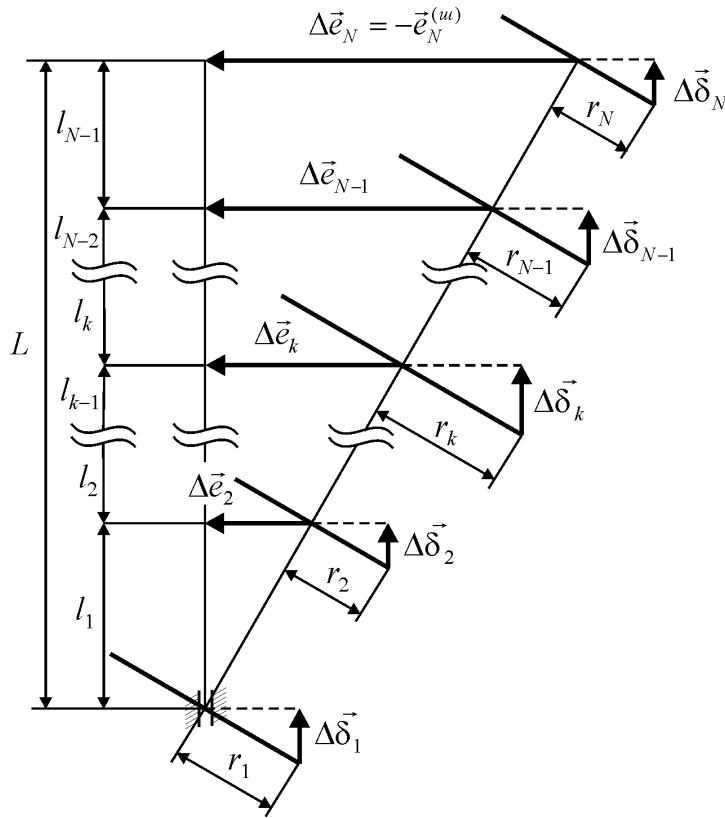


Рисунок 2 - Зміна ексцентриситетів та перекосів ланок ротора через переустановлення ротора з поворотного складального штапеля на призми

Остаточно маємо такий алгоритм віртуального переустановлення ротора з поворотного складального штапеля на призми

$$e_k = e_k^{(u)} - e_N^{(u)} \cdot \left(\sum_{i=1}^{k-1} l_i / L \right), \quad \delta_k = \delta_k^{(u)} + e_N^{(u)} r_k / L, \quad / k = \overline{1, N} / . \quad (6)$$

Зауважимо, що при віртуальній перестановці ротора ексцентриситет першої ланки залишається рівним нулю, але з'являється її перекіс:

$$e_1 = 0, \quad \delta_1 = \frac{e_N^{(u)} \cdot r_1}{L} .$$

Ексцентриситет останньої ланки, як і першої, також відсутній, але змінюється її перекіс:

$$e_N = 0, \quad \delta_N = \delta_N^{(u)} + \frac{e_N^{(u)}}{L} \cdot r_N.$$

За знайденими ексцентриситетами і перекосами будується функціонал якості за алгоритмами роботи [5].

3. Особливості реалізації алгоритму методу повного перебору. Сучасні ПЕОМ дозволяють перебрати всі можливі варіанти віртуального складання ротора і обрати серед них – оптимальний, при якому функціонал якості приймає найменше значення і виконуються обмеження на биття контрольних поверхонь. Такий метод оптимізації називається повним перебором. Очевидно, що алгоритм цього методу залишається незмінним, тобто повністю збігається із алгоритмом, побудованим у методі двох пробних зборок ротора із заміром биттів на поворотному складальному штапелі [5].

Висновки. Модифіковані основні етапи методу двох пробних складань ротора із заміром биттів на поворотному складальному штапелі для складання двохопорних роторів із заміром биття на призмах. Етапи зазнають такі зміни:

- на етапі визначення характеристик пар биття контрольних поверхонь всіх ланок замірюються при встановленні ротора на призми;
- на етапі віртуального складання алгоритм віртуального складання доповнюється алгоритмом перерахунку ексцентриситетів і перекосів, що моделює перестановку ротора з поворотного складального штапелю на призми;
- на етапі оптимізації алгоритм методу повного перебору залишається незмінним.

Список літератури

1. Гарькавый А.А. Сборка авиационных двигателей / Гарькавый А.А. — М. : Машиностроение, 1981. — 223 с.
2. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей / [Вьюнов С. А., Гусев Ю. И., Карпов А.В. и др.] под ред. Д. В. Хромина. — М. : Машиностроение, 1989. — 564 с.
3. Непомилуев В.В. Разработка технологических основ обеспечения качества сборки высокоточных узлов газотурбинных двигателей: дис. ... докт. техн. наук / Непомилуев В.В. — Рыбинск: РГАТА, 2000. — 356 с.
4. Кондратюк Э.В. Сборка ротора КВД газотурбинного двигателя Д-18Т методом двух пробныхборок и последовательной оптимизации / Кондратюк Э.В. // Технологические системы. — 2005. — №2. — С. 10-16.
5. Кондратюк Э.В. Сборка ротора КВД газотурбинного двигателя методом двух пробныхборок и полной оптимизации / Кондратюк Э.В., Филимоныхин Г.Б. // Технологические системы. — 2005. — №4 (30). — С. 9-14.
6. Кондратюк Э.В. Сборка ротора барабанно-дисковой конструкции методом двух пробныхборок / Кондратюк Э.В., Титов В.А., Филимоныхин Г.Б. // Технологические системы. — 2005. — №1. — С. 30-34.
7. ОСТ 1.41672-77. Статическая балансировка колес роторов ГТД путем распределения лопаток в дисках: Метод анализа. — М.: МАП, 1977. — 50 с.

Модифицированный метод двух пробныхборок роторов барабанно-дисковой конструкции с замером биений на поворотном сборочном штапеле для сборки межопорных роторов этой конструкции с замером биений на призмах.

The modified method of two trial assembling of rotors of drum-disk construction with measuring of beating on turning assembling staple for collecting of rotors in two supports of this construction with measuring of beating on prisms.